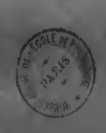
1842

Lhermite



A MON ONCLE ET A MA TANTE THOMMERET,

MES SECONDS PÈRE ET MÈRE.

Faible et éphémère gage d'une Reconnaissance éternelle.

M. LHERMITE.

Si je présente une Thèse dont le sujet a aussi peu de rapport avec la pharmacie, c'est que le temps m'a manqué pour faire un travail de chimie dont la libéralité de l'École et les conseils de M. Bussy devaient me faciliter l'exécution. Je prie mon maître et messieurs les professeurs d'agréer mes publics et sincères remercîments, avec l'expression de mes regrets de n'avoir pu profiter des avantages qui étaient à ma disposition.

SUR

QUELQUES CAS PARTICULIERS

DE L'ÉCOULEMENT DES LIQUIDES.

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE A L'ÉCOLE DE PHARMACIE,

le 7 juillet 1842,

PAR M. LHERMITE,

DE SAINT-MICHEL DES ANDAINES, DÉPARTEMENT DE L'ORNE,

Licencié ès-sciences physiques, secrétaire de la société d'Emulation pour les sciences pharmaceutiques, ex-interne en pharmacie des Hôpitaux de Paris, élève de l'École pratique.





PARIS,

POUSSIELGUE, IMPRIMEUR DE L'ÉCOLE DE PHARMACIE,

RUE DU CROISSANT-MONTMARTRE, 12.

1842

PROFESSEURS DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE.

MM. DUMÉRIL.
RICHARD.

ÉCOLE SPÉCIALE DE PHARMACIE.

ADMINISTRATEURS.

MM. BOUILLON-LAGRANGE, Directeur.
PELLETIER, Directeur-adjoint.
BUSSY, Trésorier.

PROFESSEURS.

MM. BUSSY.	Chimie.
GAULTIER DE CLAUBRY.	Chimie.
LECANU.	Pharmacie.
CHEVALLIER.	Pharmacie.
GUIBOURT.	Histoire naturelle.
GUILBERT.	Histoire naturelle.
GUIART.	Botanique.
CLARION.	Botanique.
CAVENTOU.	Toxicologie.
SOUBEIRAN.	Physique.

AGRÉGÉS.

MM. BOUDET.
CHATIN.
GOBLEY.
BUIGNET.
HENRY.

NOTA. *L'École ne prend sous sa responsabilité aucune des opinions émises par les candidats.*

SUR

QUELQUES CAS PARTICULIERS

DE L'ÉCOULEMENT DES LIQUIDES.



Dans une branche de la science aussi importante et aussi peu avancée que l'est l'hydrodynamique, au moins sous le rapport expérimental, il est bon de ne négliger aucun fait, pour peu qu'il offre d'intérêt; c'est pour cette raison que j'ai souvent décrit avec des détails minutieux les phénomènes que j'ai observés.

Quand on fait couler de l'eau à travers une sphère creuse munie de deux orifices percés à 90° de distance de l'un à l'autre. le liquide entrant par le premier pour s'échapper par le second, l'écoulement ne se produit pas toujours comme dans les circonstances ordinaires.

Je suppose que l'on prenne un de ces ballons tubulés dont les chimistes se servent pour recueillir les produits volatils de la distillation et qu'on attache le col, par le moyen d'une vessie ou d'un tuyau de cuir, à un robinet dont l'eau s'échappe sous une certaine pression (deux mètres d'eau, par exemple); si l'on tourne peu à peu la clef du robinet, tant que l'eau qui s'échappe par la tubulure n'a pas atteint une certaine vitesse, la veine fluide conserve sa forme ordinaire (à peu près cylindrique); à mesure que l'eau vient en plus grande abondance elle acquiert une plus grande vitesse à sa sortie de la tubulure, ce qui est tout simple, puisqu'il y passe une quantité de liquide plus considérable dans le même temps; mais il arrive un instant où la veine prend la forme d'un cône creux ou nappe conique, dont le sommet géométrique est dans l'intérieur de la tubulure, à une petite distance de son extrémité (*figure* 1); là cependant ne s'arrête pas toujours l'air qu'enveloppe le cône creux de liquide, il se prolonge le plus souvent sous la forme d'un cylindre ou d'un tronc de cône d'un très petit angle, qui va s'arrêter contre un point de la paroi diamétralement opposé à la tubulure. En même temps que se produit ce phénomène les diverses parties de l'appareil supportent une plus forte pression, qui se manifeste par la tension qu'éprouve le tuyau de peau.

Quelquefois, le liquide s'écoulant sous la même pression, le cône

et le cylindre disparaissent, la veine cylindrique se reforme et le tuyau de cuir revient sur lui-même. Tantôt ce changement est subit, tantôt, et le plus souvent, les bords du cône commencent à se rapprocher, se rejoignent, et la nappe présente alors la forme d'un navet ou d'un fuseau plus ou moins renflé (*figure* 1 *bis*), qui diminue peu à peu de volume pour être bientôt remplacé par une veine ordinaire; celle-ci disparaît à son tour, le cône s'étant reproduit, soit d'une manière subite, soit par la succession en sens inverse des phases que je viens d'indiquer.

Ce qui se produit ici, en quelque sorte spontanément, on peut le réaliser à volonté en diminuant ou augmentant par degrés la quantité d'eau qui s'écoule.

Le diamètre du cylindre d'air est toujours un peu moindre que le diamètre intérieur de la tubulure, du moins quand le courant est rapide.

Le cône de liquide et le cylindre d'air semblent exécuter un mouvement en spirale ; de plus le tube d'air décrit autour d'un certain point un petit cercle irrégulier, et exerce contre la paroi une friction assez forte. Le ballon exécute des vibrations souvent très sensibles à la main qui le touche, mais l'oreille ne s'en aperçoit pas aisément, à cause du bruit que fait entendre l'eau dans sa chute.

Si on plonge le ballon dans une auge en partie pleine d'eau, le cône extérieur disparaît, mais le cylindre intérieur persiste souvent, et fait entendre un bruit semblable à celui que produirait une pointe d'acier qu'on approcherait d'un disque de verre en vibration. Ce tube d'air est terminé, du côté de la tubulure, par un nuage blanc, laiteux, qui résulte de l'interposition de molécules d'air entre des molécules d'eau ; l'autre extrémité offre également un nuage, mais il est beaucoup moins volumineux.

Le ballon vibre encore ici fortement et produit un son très perceptible; il est modifié par la présence du tube d'air, mais on peut l'entendre en l'absence de celui-ci, qui est souvent entraîné par le courant hors du ballon.

Si on voulait faire entrer de nouveau dans le vase le cylindre d'air quand il en a disparu, on n'aurait qu'à présenter la tubulure à la surface de l'eau ; l'air extérieur se précipiterait aussitôt dans le matras.

Les vibrations du ballon sont une conséquence de la découverte de Savart sur l'écoulement des liquides, lequel ne se produit point d'une manière continue, mais par une suite de pulsations assez rapprochées pour que l'organe de l'ouïe puisse en être affecté. Une planche ou un disque métallique mis dans l'intérieur de la nappe à une petite distance de ses bords fait entendre un son très intense, comme il arrive avec les nappes de Savart.

La tension qu'éprouve la membrane qui joint le matras au robinet,

plus forte quand le liquide s'écoule sous la forme d'un cône que quand il affecte celle d'une veine, doit faire supposer que la dépense est moindre dans le premier cas que dans le second. C'est aussi ce que je crois avoir trouvé par expérience : j'ai compté le temps nécessaire pour remplir un grand vase avec le ballon (le cône se formant), et sans cet ajutage, pour une même position de la clef du robinet. Dans le premier cas il a fallu 2′ 2″; dans le second 1′ 42″ ont suffi. Ainsi, pour le ballon dont je me suis servi, quand le cône se forme, la dépense n'est que les 5/6 de ce qu'elle est quand l'eau s'écoule sous forme de veine. Les dimensions des diverses parties de l'appareil étaient les suivantes :

Diamètre du ballon,	120 millimètres.
— intérieur du col,	25
— — de la tubulure,	20
Longueur du col,	280
de la tubulure,	30
Diamètre intérieur du robinet,	17

J'ai obtenu sensiblement le même rapport avec un autre appareil, dont toutes les parties étaient moindres que celles du précédent.

En réduisant peu à peu le diamètre intérieur de la tubulure, le tube d'air cesse de se former pour un orifice trop étroit. Il ne s'en présentait plus avec un ballon de 13 centimètres de diamètre, dont la tubulure avait 25 millimètres de longueur et 10 à 12 millimètres de diamètre intérieur, l'eau étant à la température de 15°. Le cône extérieur persiste souvent après la disparition du cylindre d'air.

Lorsque le ballon a deux tubulures diamétralement opposées, on peut diminuer encore la section des orifices avant de faire disparaître le cylindre d'air et les nappes. Si au vase dont nous nous sommes servis dans les précédentes expériences on en substitue un à deux tubulures diamétralement opposées, et dont l'axe commun soit perpendiculaire à l'axe du col, au lieu d'un seul cône, il s'en produit deux réunis par leurs sommets au moyen d'un cylindre d'air qui traverse le ballon (*fig.* 2). Si, l'écoulement continuant, on plonge une des tubulures dans l'eau, il se forme, à celle qui est hors du liquide, un cône suivi d'un cylindre d'air qui se prolonge jusqu'à la première tubulure (*fig.* 3). Celle-ci livre à la fois passage à de l'eau et à de l'air qui y descend en très grande abondance, et produit un bouillonnement considérable en se dégageant à travers l'eau dans laquelle le ballon est en partie plongé.

Si l'on rétrécit l'ouverture supérieure, en y adaptant un bouchon percé d'un trou, un cylindre persiste, et il ne sort par le trou qu'une très petite quantité d'eau (*fig.* 4). Par cette disposition le liquide est refoulé vers la tubulure inférieure ; l'orifice supérieur étant, en quelque sorte, bouché par le cylindre d'air. Que l'on bouche d'une ma-

nière imparfaite la tubulure supérieure, l'eau continuera de s'écouler par la tubulure immergée, mais la pression atmosphérique fera pénétrer de temps en temps par l'autre orifice de petites quantités d'air, qui s'allongeront instantanément en cylindre, dont la ténuité égale quelquefois celle d'un gros fil à coudre. Toutefois, quand le cylindre est réduit à ces petites proportions, il n'est plus continu, mais est formé par la réunion de petites sphères, ou mieux, de petits ellipsoïdes de révolution juxtaposés comme les perles d'un collier; bientôt cette petite colonne est entraînée par le courant pour être promptement remplacée par de nouvelles quantités de fluide élastique.

Un ballon à deux tubulures diamétralement opposées, dont l'une est fermée par un bouchon percé d'un trou dans lequel est fixé un tube de verre creux T (*fig.* 4 *ter*), présente le phénomène suivant: Il se forme une nappe conique à l'orifice libre, et un cylindre d'air s'allonge dans l'intérieur du vase jusqu'à l'extrémité du tube T. Ce tube paraît livrer passage à de l'air qui s'échapperait avec l'eau par la tubulure ouverte. De temps en temps le cylindre d'air disparaît, et de l'eau s'écoule alors par le tube T; mais bientôt tout le liquide qui est dans le tube retourne dans le vase, et le cylindre se montre de nouveau.

Soient T et T' deux tubulures placées à égale distance du col (90°) dont les axes font entre eux un petit angle ; le cylindre d'air sera dirigé alternativement suivant l'un et l'autre axe, c'est à dire qu'il sera tantôt comme l'indiquent les lignes pleines de la figure, tantôt comme le représentent les lignes ponctuées. Le cône produit à la tubulure sur le prolongement de laquelle se formera le cylindre sera plus ouvert que l'autre (*fig.* 4 *bis*). Supposons que la plus grande nappe soit à un instant donné, à la tubulure T, un recul aura lieu suivant TT'; l'instant d'après le cône le plus ouvert se présente à la tubulure T', et le recul se produira suivant T'T : de telle sorte qu'il en résultera des oscillations du ballon autour de son point de jonction avec le robinet.

Les nappes présentent les mêmes variations dans leurs formes, soit qu'elles aient été données par un ballon uni-tubulé ou bi-tubulé. Elles atteignent leurs plus grandes dimensions lorsqu'elles sont lancées verticalement de haut en bas; elles offrent alors la forme d'un cône creux régulier (si on leur donne par la pensée un sommet, et qu'on fasse abstraction de l'auréole ou frange qui les termine inférieurement). Quand le jet est produit verticalement de bas en haut, le cône est encore symétrique autour de l'axe; mais il n'est plus régulier : il est moins haut, plus ouvert, ses bords sont rabattus en dehors, et d'autant plus que la pression sous laquelle l'écoulement a lieu est moins considérable; si la direction des nappes est horizontale ou oblique, elles ne sont plus symétriques que par rapport à un plan passant par l'axe du solide de révolution irrégulier dont elles ont la

forme. Les bords supérieurs et inférieurs s'infléchissent, obéissant à l'action de la pesanteur. D'ailleurs l'étendue d'aucune de ces nappes n'est constante : elle éprouve, au contraire, des diminutions et des accroissements qui se succèdent avec rapidité ; et, à vitesse égale, elles sont toujours plus grandes pour un orifice d'un grand diamètre.

Si l'on produit l'écoulement à travers un ballon à une tubulure placée à 40 ou 45° de l'axe du col (*fig.* 9), on observe le phénomène suivant : Un cylindre d'air s'appuie par une de ses extrémités contre la paroi du vase, à 90° du col, du côté opposé à la tubulure ; il prend une direction oblique à la normale en ce point pour atteindre l'orifice. Le liquide en sort sous la forme d'une nappe conique dont la surface conique supérieure est moins développée que l'inférieure. Je suppose que le ballon présente une deuxième tubulure dont l'axe soit situé sur le même grand cercle que l'axe de la première, à égale distance du col, et du côté opposé ; si ce second orifice est bouché, le premier offrira la nappe que je viens de décrire ; mais si on le débouche, cône et cylindre disparaîtront, et l'écoulement s'opérera par deux veines ordinaires.

Soit un flacon cylindrique muni d'une tubulure à sa partie inférieure (*fig.* 7) ; si on fait entrer l'eau par la tubulure, elle s'écoule par le col sous forme d'une nappe conique, et un cylinde d'air se montre à l'intérieur dans toute la longueur du vase. L'extrémité *a* de ce cylindre, qui est vis-à-vis de la tubulure, est un peu refoulée et courbée par le courant ; la courbure se répète en sens contraire à l'autre bout *b*. Cette dernière courbure ne s'observe que lorsque le flacon est placé dans une direction parallèle ou oblique à l'horizon ; elle est le résultat de la direction oblique de la nappe, et ne se montre point quand le jet est vertical de haut en bas ou de bas en haut.

J'ai répété cette expérience avec un flacon de 50 centimètres de longueur sur 13 de diamètre, et très souvent le tube d'air, qui avait ici la forme d'un cône, en occupait toute la longueur, mais d'autrefois seulement une partie plus ou moins considérable. L'eau entrait latéralement par une tubulure placée soit près du fond, soit à égale distance des deux extrémités du vase. Les figures 5-*a* et 5-*b* indiquent la forme du tube d'air dans l'un et l'autre cas. La figure *b* représente un jet vertical de bas en haut.

Si l'écoulement a lieu dans une direction inverse, c'est à dire du col vers la tubulure, il ne se forme point de cône ; il ne s'en forme point non plus avec sphère creuse percée de deux orifices diamétralement opposés.

Un flacon cylindrique à deux tubulures, adaptées au pourtour d'une des bases et aux deux extrémités d'un même diamètre, ne donne point de nappe conique. Si la tubulure par laquelle le liquide s'écoule est au centre de la base, il se produit quelquefois un cône

(*fig.* 8), mais assez difficilement; un courant en sens inverse ne donne qu'une veine ordinaire.

Un ballon à quatre tubulures équidistantes diamétralement opposées deux à deux, et situés dans un même plan perpendiculaire à l'axe du col, offrent un phénomène analogue à celui que présente le ballon bi-tubulé : deux tubulures opposées laissent écouter l'eau sous forme de veine (*fig.* 10), tandis que les deux autres donnent des nappes réunies par un cylindre d'air intérieur. On peut par quelques tâtonnements faire produire les nappes par tels ou tels orifices à volonté Si on bouche une des tubulures, celle qui lui est opposée livre passage à une veine, et les cônes se montrent bientôt aux deux autres ouvertures.

Avec un ballon à trois tubulures équidistantes entre elles il ne se forme le plus souvent qu'un cône, plus rarement deux, réunis alors par un cylindre d'air (*fig.* 11).

Orifices en mince paroi.

On pouvait se demander si les tubulures n'étaient pas indispensables pour produire des nappes coniques, si celles-ci pouvaient encore se former avec un orifice en mince paroi. Pour résoudre cette question j'ai fait construire le petit appareil suivant (*fig.* 12) ; AB, ballon de cristal de 13 à 14 centimètres de diamètre; *rr'*, ouverture rectangulaire de 3 centimètres de largeur, de 7 à 8 centimètres de longueur; *cc'*, *cc'*, cercles en laiton dans l'épaisseur desquels sont pratiquées des rainures parallèles à la surface du ballon. Dans ces rainures glissent des lames de laiton au moyen desquelles on peut fermer l'ouverture rectangulaire. Chacune de ces lames est percée d'un trou à bords tranchants. Si on fait glisser dans les rainures une de ces lames, celle, par exemple, dont le trou a 1 centimètre de diamètre, qu'on amène le trou à 90° environ du col T, et qu'on fasse passer un courant d'eau à travers le ballon, il se produit un cône de même qu'avec une tubulure. Qu'on fasse descendre le trou, c'est à dire qu'on l'éloigne du col, le cône et le cylindre intérieur persisteront tant que l'orifice ne sera pas à plus de 135°; au delà tout disparaît, et l'écoulement se produit sous forme de veine. Cette disparition n'a pas lieu d'une manière subite et rigoureusement pour le degré indiqué; il arrive souvent que le cylindre et le cône ne se montrent point pour un angle de 110 à 120° entre la normale au plan du trou et la direction du col du matras. Le phénomène se manifeste d'autant plus facilement et est d'autant plus stable, que la direction du liquide à son entrée dans la sphère creuse fait avec sa direction à sa sortie un angle plus rapproché de l'angle droit.

On voit par cette première expérience que la présence d'une tubulure est tout à fait inutile à la production de la nappe conique et de la colonne d'air, et de plus qu'à diamètre égal un orifice en mince paroi est plus efficace qu'un ajutage ; car avec une tubulure qui n'aurait qu'un centimètre de diamètre intérieur, et pour un ballon égal d'ailleurs en dimension à celui-ci, on obtiendrait difficilement la nappe et le cylindre.

Avec un orifice d'un centimètre et demi, et mieux de deux centimètres, le phénomène se produit bien plus facilement et est beaucoup plus stable.

Un orifice de six millimètres de diamètre donne une veine ordinaire.

Orifice en mince paroi carré et triangulaire.

La figure circulaire de la section de l'orifice n'est pas nécessaire non plus pour obtenir des nappes. Un orifice en mince paroi carré donne lieu à un tube cylindrique comme à l'ordinaire (*fig.* 13), mais la nappe n'a pas la forme d'un cône ; c'est une sorte de pyramide quadrangulaire dont les arêtes arondies sont obliques à l'axe. La figure 13 représente une section de cette pyramide.

Avec un orifice triangulaire il se produit une pyramide triangulaire creuse (*fig.* 14) dont les faces et les arêtes sont également arondies et dirigées obliquement.

Influence de la température.

Pour rechercher cette influence je me suis servi d'un ballon dont les dimensions étaient les suivantes :

Diamètre du ballon,	85 millimètres.
Longueur de la tubulure,	30
Diamètre intérieur de la tubulure,	14

J'en ai attaché le col au fond percé d'un vase dont j'ai rendu le bord supérieur à peu près horizontal ; l'élévation de ce bord au dessus du centre de la tubulure horizontalement placée était de 56 centimètres. L'eau était versée de façon à maintenir le vase supérieur constamment plein. Avec de l'eau à 96° il se produisait un cône très ouvert dont la hauteur était de 14 à 15 centimètres ; le diamètre de l'auréole avait à peu près la même longueur. Si l'on cessait de verser de l'eau dans l'appareil, la nappe paraissait à peine modifiée par la diminution de pression ; elle semblait conserver ses dimensions jus-

qu'à ce que l'eau fût descendue à 2 ou 3 centimètres au dessus du point de jonction du matras et de son col. Le cône et le cylindre disparaissaient alors tout à coup sans passer par les formes intermédiaires dont il a été question plus haut.

En employant avec cet appareil de l'eau à 15°, je n'ai pu obtenir que des nappes fermées, de quelques centimètres plus longues que les cônes de l'expérience précédente. Mais ici, le niveau baissant, le volume de la nappe diminuait à mesure.

Cause de la formation de la nappe liquide et du cylindre d'air.

En introduisant de petits cailloux dans un ballon à une tubulure, dont l'axe était perpendiculaire à celui du col du ballon et laissait passer à travers le vase un courant d'eau, j'ai pu reconnaître que le liquide exécute un mouvement de translation autour d'un axe passant par la tubulure et par le centre du matras, mouvement d'autant plus rapide que la vitesse de progression est elle-même plus grande.

Ce mouvement de rotation des particules d'eau dans l'intérieur du sphéroïde s'exécute tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé. Lorsque l'écoulement est commencé, on a beau tourner le ballon de toutes les manières, la direction du mouvement demeure la même qu'elle était en premier lieu. Mais si avant la formation du cône on incline le ballon, c'est à dire si l'on incline le plan qui passe à la fois par les axes du col et de la tubulure, le courant descend dans la portion du matras qui est tournée vers le sol et remonte dans l'autre hémisphère.

On peut de même déterminer à volonté le sens de la rotation dans un vase cylindrique.

Or, une conséquence de ce mouvement curviligne c'est que les molécules d'eau tendent sans cesse à s'écarter de l'axe de rotation tangentiellement aux circonférences qu'elles décrivent, et à produire suivant cet axe même un vide, qui est aussitôt rempli par l'air environnant. De là l'apparition dans le vase d'une certaine quantité d'air sous une forme à peu près cylindrique. Cette colonne d'air occupant le centre de la tubulure doit y jouer le même rôle qu'un cylindre de matière solide de mêmes dimensions et semblablement placé, et peut-être exerce-t-il en effet une influence sur la forme que tendent à donner à la nappe la pesanteur, l'action capillaire (1) et les mou-

(1) Ce n'est pas seulement de la force attractive des molécules liquides, mais c'est encore de la viscosité qu'il s'agit ici.

vements rectilignes et circulaires dont les molécules liquides sont animées.

Essayons d'examiner la part que doit avoir chacune des forces que nous venons de signaler : à leur sortie de la sphère creuse les particules d'eau, en vertu de leur mouvement de rotation, s'il existait seul, s'échapperaient suivant une direction parallèle au plan de l'orifice; tandis que, agissant isolément, leur vitesse progressive les entraînerait dans une direction perpendiculaire à la première. Il en résulterait dans le premier cas une nappe plane; dans le second un cylindre creux. Mais ces deux forces agissant simultanément, il doit se produire une nappe de forme intermédiaire aux deux autres, c'est à dire un cône qui sera plus ou moins ouvert, suivant l'intensité relative des composantes.

La pesanteur n'aura pas une grande influence sur l'ouverture d'un cône dont l'axe sera horizontal, parcequ'elle agira à peu près également sur la face latérale supérieure et sur l'inférieure pour les infléchir et les déformer; mais elle tendra à ouvrir un cône vertical ou oblique de bas en haut, en même temps qu'elle en diminuera la longueur; au contraire, elle rapprochera les faces opposées, et diminuera l'angle au sommet d'un cône lancé verticalement ou obliquement de haut en bas. Ajoutons que l'action de la pesanteur sera toujours plus sensible quand la vitesse d'écoulement diminuera, ou, en d'autres termes, quand les deux vitesses précédemment indiquées seront moindres.

Enfin c'est à la force moléculaire que le liquide doit de pouvoir former une lame mince en mouvement, même alors que la vitesse des molécules n'est pas égale en tous les points; et c'est en vertu de son action que les nappes se ferment.

Par l'élévation de la température l'affinité capillaire et la viscosité diminuent : voilà pourquoi les nappes, dans leur plus grand développement, ont moins d'étendue quand on emploie de l'eau chaude que quand on se sert d'eau froide. D'un autre côté, les molécules liquides, plus libres dans leurs mouvements relatifs, obéissent mieux aux autres forces qui les sollicitent : ce qui explique pourquoi le cône qui est le résultat de la force centrifuge peut persister encore sous de faibles charges. Mais à cette cause s'en joint une autre : c'est qu'à pression égale le mouvement de rotation est plus rapide pour une température plus élevée du fluide. Je ne puis cependant pas affirmer positivement qu'il en soit ainsi, n'ayant observé le phénomène que par un procédé très imparfait, car c'est en mettant dans le ballon de petits cailloux, qui étaient entraînés par le courant intérieur avec une rapidité dont j'essayais d'apprécier les degrés à vue d'œil.

Les expériences suivantes me semblent également propres à mettre

sur la voie de l'explication des phénomènes qui font le sujet de cette note.

Si l'on commence l'écoulement à travers un ballon, après en avoir fixé le col dans une position horizontale, l'orifice étant tourné vers la terre, et si cet orifice ne verse pas toute l'eau à mesure qu'elle arrive, le liquide remplit d'abord toute la partie du ballon située au dessous de la paroi supérieure du col (en *a b*) (*fig.* 15). Mais par le mouvement giratoire qu'exécute le liquide sa surface devient concave (*fig*, 16), s'ouvre en un point voisin de son centre (*fig.* 17 *et* 18), et l'air supérieur s'allonge peu à peu (*fig.* 19) sous forme d'entonnoir, dont l'extrémité atteint l'orifice, se prolonge à l'extérieur (*fig.* 20) enveloppé d'une nappe liquide, sous forme d'un ellipsoïde de révolution qui augmente de volume et finit par s'ouvrir en une nappe conique; alors l'air qui est dans le ballon s'y présente sous la forme d'un cylindre ou d'un tronc de cône, dont l'extrémité la plus petite est à la partie supérieure du côté opposé à l'orifice.

La succession de ces phénomènes est presque instantanée lorsqu'on donne de suite un courant d'eau abondant; mais en graduant convenablement la dépense, on peut les observer à l'aise l'un après l'autre.

Si quand la nappe est formée on diminue la quantité d'eau qui traverse le vase, la nappe se ferme, l'extrémité supérieure du cylindre d'air augmente de volume et continue de s'accroître à mesure que diminue le volume de la nappe fermée; et quand le liquide est redescendu jusqu'en *ab*, le tube de communication entre l'orifice du vase et la partie supérieure disparaît, l'écoulement continue sous forme de veine. Quelquefois cependant le mouvement de rotation étant encore assez rapide, en raison de la vitesse acquise, le tube persiste, même lorsqu'on arrête l'écoulement, jusqu'à ce que tout le liquide soit sorti du ballon.

Si ces phénomènes sont dus, ainsi que je l'ai admis, au mouvement de rotation du liquide, on doit pouvoir les faire paraître en partie avec un flacon cylindrique, sans avoir besoin d'un courant d'eau. C'est ce qui a lieu en effet. Qu'on renverse, en le tenant bouché avec la main, un flacon cylindrique rempli d'eau (*fig.* 21), et qu'on le débouche après avoir imprimé au liquide un mouvement de rotation autour de l'axe du flacon. La surface du liquide deviendra concave, un vide se fera suivant la direction de la tubulure, et l'eau s'écoulera le long des parois de l'orifice. Le résultat est le même quand le flacon est ouvert ou quand il est fermé à son fond. Mais on ne peut jamais obtenir de larges nappes avec un appareil de ce genre; elles sont toujours déformées à cause de l'attraction exer-

cée sur les molécules fluides, par l'extrémité de la tubulure, surtout lorsque les bords rabattus présentent une plus large surface. Si le tuyau d'écoulement est un peu long, et si ses bords sont plus minces, les particules liquides, en raison de leur plus grande vitesse, échappent à l'action capillaire de l'extrémité de l'orifice, et l'on obtient de plus belles nappes. En employant un ballon de 12 centimètres de diamètre (*fig.* 22), et dont le col avait 28 à 30 centimètres de longueur, et en laissant ouverte la tubulure, j'ai obtenu une nappe fermée qui avait approximativement 20 centimètres de longueur sur 8 à 10 de largeur. Le liquide ne s'écoulait qu'en couche très mince le long des parois du col; aussi fallait-il pour qu'il fût écoulé en totalité cinq à six fois le temps qui est nécessaire pour que le flacon se vide lorsqu'il n'est pas agité.

RÉSUMÉ.

Quand un courant d'eau entre dans une sphère creuse, et qu'il en sort avec une certaine vitesse, suivant une direction faisant avec la direction primitive un angle compris entre 40 et 135 degrés, le liquide offre, au lieu d'une veine ordinaire, une nappe conique jouissant à peu près des mêmes propriétés que les nappes observées par M. Savart.

Une colonne d'air, sous la forme d'un cylindre ou d'un cône tronqué d'un très petit angle au sommet, fait suite à la nappe conique, et se prolonge jusqu'au point de la paroi diamétralement opposé à l'orifice.

Des stries obliques que présentent la nappe liquide et le cylindre d'air intérieur semblent indiquer que ceux-ci exécutent un mouvement en spirale.

On obtient les mêmes résultats avec un cylindre creux, lorsque le liquide, introduit par une ouverture pratiquée sur la surface convexe, s'écoule par un orifice percé au milieu d'une des bases.

Les phénomènes sont à quelques modifications près les mêmes, soit que l'écoulement ait lieu par un orifice en mince paroi, soit qu'il se produise par un ajutage dont la longueur n'excède pas 5 à 6 centimètres.

A diamètre égal un orifice en mince paroi est plus propre à la formation des nappes qu'un ajutage, et celui-ci est d'autant moins efficace qu'il est plus long.

Quand l'orifice en mince paroi a moins de 1 centimètre, ou l'ajutage seulement 1 centimètre de diamètre, on obtient difficilement une nappe extérieure, et plus rarement un cylindre intérieur.

Un orifice en mince paroi carré donne un tube d'air sensiblement

cylindrique et une nappe qui a la forme d'une pyramide quadrangulaire dont les arêtes sont arrondies et obliques, et les faces latérales convexes.

Un orifice triangulaire donne une pyramide triangulaire analogue à la précédente.

L'effet de l'élévation de la température du liquide est de diminuer la longueur des cônes, mais d'en rendre la formation plus facile.

La dépense est moindre lorsque la nappe se forme (toutes circonstances égales d'ailleurs).

Tous ces phénomènes sont dus au mouvement de rotation du liquide dans l'intérieur des vases autour de l'axe prolongé des ajutages, ou bien autour de la normale au centre des orifices en mince paroi. Mais comme ce mouvement n'est pas toujours très régulier, on comprendra que, sans que la pression ait changé, le cylindre d'air et le cône de liquide pourront subir des modifications notables, ou même disparaître tout à fait, pour se présenter de nouveau quand le mouvement circulaire régulier se sera rétabli.

On pourra peut-être faire une application de ces phénomènes pour varier la forme des jets d'eau dans les fontaines de luxe et d'agrément.

Si dans les tuyaux de conduite d'eau on s'avisait, quand ils changent de direction, d'en augmenter les dimensions au point de courbure, il est probable que le mouvement de rotation qui s'y établirait serait une cause retardatrice de la marche du liquide; car la vitesse qui se dépenserait là en pure perte devrait nécessairement diminuer d'autant la vitesse de translation du fluide.

Je n'ai pu, comme je me l'étais proposé à l'époque où j'ai fait ce petit travail, lui donner plus d'extension et un caractère plus scientifique par des expériences de précision, auxquelles je devais me livrer lorsqu'aurait diminué la distance qui me séparait alors du collége de France. Qu'il me soit permis ici de payer à la mémoire de l'illustre Savart l'humble tribut de ma reconnaissance pour l'empressement avec lequel il m'offrit de mettre à ma disposition l'appareil monumental qu'il a fait construire pour l'étude de l'hydrodynamique.

PROPOSITIONS

PHYSICO-CHIMIQUES.

I.

Dans la distillation simultanée de deux liquides qui ont des points d'ébullition différents, on peut admettre en général que le moins volatil distillera en proportion d'autant plus considérable que son affinité pour le plus volatil sera moins énergique.

Ainsi, lorsqu'on soumet à l'action de la chaleur un mélange d'eau qui bout à 100°, et d'iode qui n'entre en ébullition qu'à 175°, dès que le premier liquide se vaporise, les vapeurs d'iode se forment en abondance, la voûte et le col de la cornue se remplissent d'une belle atmosphère violette.

Reprenez l'expérience en substituant à l'eau de l'essence de térébenthine, celle-ci distillera seule, et la vapeur d'iode n'apparaîtra que quand la presque totalité de l'huile volatile aura passé dans le récipient. Quelle est la cause d'une différence aussi tranchée, et qui s'offre dans un sens opposé à celle qu'on aurait pu prédire, d'après le point d'ébullition de l'essence de térébenthine, qui est bien supérieur à celui de l'eau et peu éloigné de celui de l'iode ? Cette cause, c'est la grande différence qui existe entre l'affinité de l'eau pour l'iode et celle du métalloïde pour l'huile volatile.

Quand on chauffe un mélange de ces deux corps, celui dont la tension est plus forte, l'essence, doit se vaporiser d'abord. La température s'élève probablement un peu au dessus de celle qui est nécessaire pour déterminer l'ébullition de l'huile essentielle soumise isolément à l'action de la chaleur. A ce degré, qui est compris entre le 150° et 160° centigrade, l'iode a une force élastique assez considérable en vertu de laquelle il devrait se vaporiser en proportion déterminée par le degré thermométrique, par les densités des vapeurs d'essence

et d'iode, et enfin par la tension de l'iode à la température où le phénomène se produit. Mais, d'un autre côté, comme la vaporisation de l'essence n'est pas instantanée pour toute la masse, qu'elle n'est que successive, la portion qui reste à l'état de liquide peut exercer sur l'iode une attraction qui fasse équilibre à la tension de ces corps, ou même l'emporte sur elles, et c'est précisément ce qui arrive dans l'expérience qui nous occupe. En prolongeant l'ébullition, la tendance de l'iode à se réduire en vapeur croîtra par deux causes : l'élévation de la température, qui augmente la force élastique, et la diminution de la masse d'essence, qui agit alors avec une énergie d'autant plus faible pour retenir l'iode. On conçoit donc que ce corps, malgré sa puissante affinité pour son dissolvant, puisse distiller avant la disparition totale de celui-ci.

Soumettons au contraire à l'action de la chaleur un mélange d'eau et d'iode ; comme ces deux corps ont très peu d'affinité l'un pour l'autre, aussitôt que l'un d'eux entrera en ébullition, l'autre fournira une quantité de vapeur qui sera sensiblement en raison composée de la tension propre et du volume de fluide élastique que le premier aura donné.

Quand on distille un mélange d'essence et d'alcool aqueux, on observe que l'essence se montre dans les dernières portions distillées en plus grande quantité que dans les premières. Trois causes concourent à produire ce résultat : 1° l'accroissement de tension dû à l'élévation de la température (l'alcool passant d'abord en plus grande proportion que l'eau) ; 2° la moindre affinité de l'essence pour l'eau que pour l'alcool ; 3° enfin la faible densité de la vapeur d'eau comparée à celle de l'alcool, ou, en d'autres termes, l'expansion plus grande du premier liquide quand il passe à l'état de fluide aériforme.

II.

La loi relative à la tension du mélange de deux vapeurs n'est exacte que pour le cas où les liquides dont elles proviennent sont sans action réciproque : s'ils exercent l'un sur l'autre une action attractive, la tension observée sera une certaine fonction de l'intensité de cette action et pourra peut-être servir à l'évaluer.

III.

On pourrait d'après le même principe mesurer l'affinité d'une matière fixe pour un liquide volatil ; le problème serait d'ailleurs ici bien plus simple. De plus, en variant les quantités relatives du dis-

solvant et de la matière dissoute, on arriverait probablement à connaître la loi de l'attraction à des distances infiniment petites, à savoir si, de même que les attractions et répulsions à distances sensibles, elle est en raison inverse du carré de la distance.

On dit que l'acétate de plomb et le sublimé corrosif n'ont point d'affinité pour l'eau parcequ'ils n'en retardent pas le point d'ébullition : outre que la conclusion n'est pas très rigoureuse, il se pourrait que ces deux sels eussent de l'affinité pour l'eau à la température ordinaire, bien que n'en ayant pas à 100°; la tension de la liqueur serait alors moindre que celle de l'eau pure.

Mais si le sel de plomb et le chloride mercurique ne font que se diviser dans le liquide sans exercer sur lui la moindre action, je dis que la tension devra être plus grande que celle de l'eau; car la volatilité est certainement une fonction de la capillarité : si l'intensité de cette dernière force diminue, le corps devient plus volatil. Or les deux substances qui font le sujet de cette discussion, en se dissolvant augmentent le volume de l'eau; la force capillaire doit diminuer d'une quantité correspondante, vu l'écartement que subissent les molécules fluides.

Si les choses se passaient réellement ainsi, on ne pourrait pas mesurer l'accroissement de la force élastique dans le vide; on sait en effet qu'en ce cas la vapeur d'un liquide pur prend immédiatement un maximum de force élastique, et alors même que son mélange avec une autre matière fournirait une quantité de fluide élastique plus grande que ne le comporte ce maximum, rien n'empêcherait qu'une condensation s'opérât sur les parois du tube dans lequel on ferait l'expérience; on ne l'éviterait point en introduisant de l'air dans l'appareil, car après un certain temps la force élastique atteint encore ici un certain maximum qu'on ne saurait lui faire dépasser sans changer les circonstances de pression et de température.

On pourrait alors recourir à l'ébullition sous le récipient de la machine pneumatique : à température égale la pression maximum sous laquelle le liquide pourra bouillir sera d'autant plus forte que son affinité moléculaire sera plus faible.

Il serait sans doute utile de mesurer la capillarité des dissolutions sur lesquelles on opérerait; on saurait ainsi directement si cette force a éprouvé une diminution.

J'ajoute qu'il me semble extrêmement peu probable qu'un corps puisse écarter les molécules d'un autre corps sans exercer sur elles une attraction au moins égale à celle qui détermine leurs distances respectives dans le liquide pur; et si les sels précités ne font pas varier d'une fraction de degré le point d'ébullition de l'eau sous la pres-

sion ordinaire, j'en conclus qu'à 100° leur affinité pour elle est, non pas tout à fait nulle, mais égale à la force capillaire de l'eau à cette température.

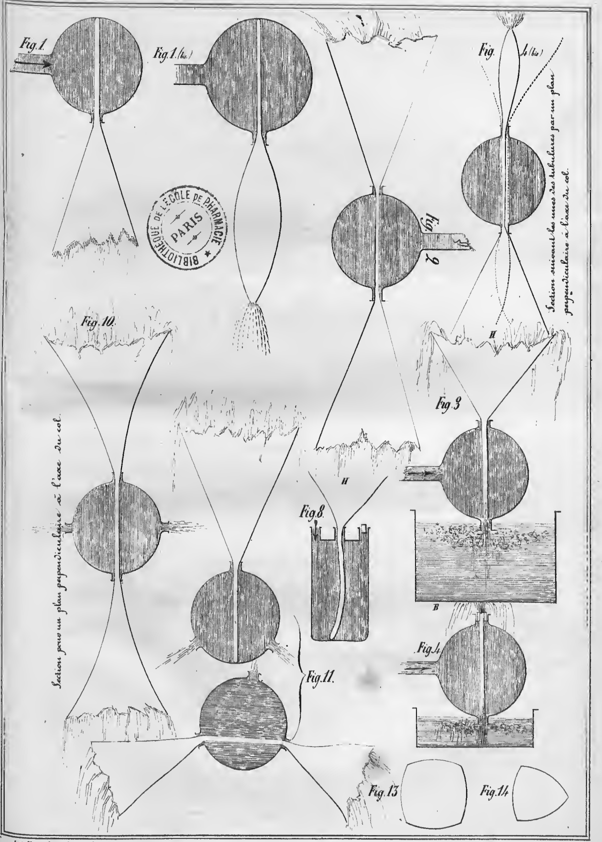
IV.

Volta, Lavoisier et Laplace nous ont appris que dans l'évaporation de l'eau il y a dégagement d'électricité. Plus récemment M. Pouillet a démontré que le fluide électrique ne se manifestait point quand on faisait l'expérience avec de l'eau distillée, et qu'il fallait pour obtenir des lignes sensibles qu'il y eût quelque sel dissous dans le liquide. Cette observation, qui établit une analogie de plus entre une dissolution et une combinaison saline, donne un nouveau moyen de mesurer comparativement l'affinité de l'eau pour les substances qu'elle peut dissoudre. On fera des liqueurs au même titre avec les corps qu'on voudra soumettre à l'expérience, ensuite, après avoir mis en communication le liquide et le plateau supérieur d'un condensateur, le plateau inférieur communiquant avec le sol, on les évaporera au même degré et on notera la déviation des lames du galvanomètre : plus l'angle sera ouvert plus forte sera jugée l'affinité. Dans le cas où cette force serait nulle les lames ne devraient pas diverger.

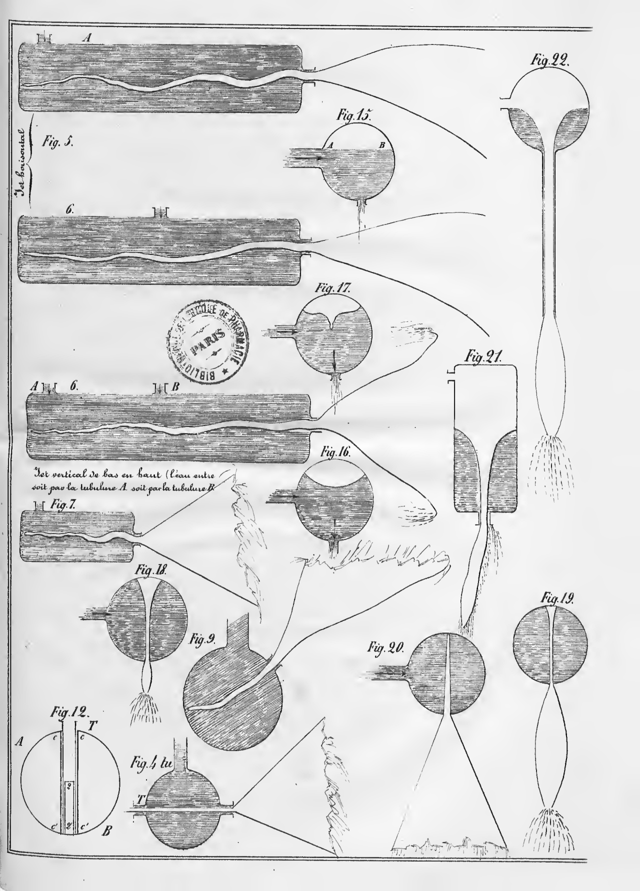
V.

Des matières solubles qui n'auraient pas d'affinité pour l'eau devraient accroître son coefficient de dilatation.





Lith Kaeppelin et C.ie r. du Croissant, 20.


A
Jet horizontal
Fig. 5.
6.
Fig. 15.
A
B
Fig. 22.
Fig. 17.
Fig. 21.
A
6.
B
Fig. 16.
Jet vertical de bas en haut (l'eau entre
soit par la tubulure A. soit par la tubulure B
Fig. 7.
Fig. 18.
Fig. 9.
Fig. 19.
Fig. 20.
Fig. 12.
T
A
c
c
2
c'
2'
c'
B
Fig. 4 bis
T